

Pemilihan Parameter Proses Pembubutan Dalam Menentukan Kekasaran Permukaan N7 Baja ST 41

¹.M.Sobron Yamin Lubis, ²Heru Budi Kusuma, ³Alvian Hartanto Widjaya, ⁴Harry Wibowo, ⁵Richard Ken, ⁶Silvi Ariyanti

^{1,3,4,5} Prodi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Tarumanagara

² FSRD– Universitas Tarumanagara Jakarta

⁶ Prodi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Mercubuana

e-mail: Sobronl@ft.untar.ac.id

Abstrak

Proses pembubutan merupakan suatu proses permesinan yang dilakukan untuk menghasilkan profil material yang berbentuk silinder. Permukaan benda kerja yang dibubut menimbulkan goresan kekasaran. Kekasaran permukaan benda kerja merupakan indikator kualitas permukaan yang dihasilkan. Pada suatu konstruksi mesin, nilai kekasaran permukaan telah ditentukan sesuai dengan kebutuhan konstruksi tersebut, maka, bagian manufaktur harus mampu melakukan proses pemesinan untuk menghasilkan nilai kekasaran permukaan yang telah ditetapkan. Nilai kekasaran permukaan benda kerja dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti parameter pemotongan, mata pahat, sistem coolant dll. Berdasarkan hal tersebut, maka penelitian ini dilakukan untuk menentukan parameter pemotongan, terutama hantaran potong terhadap nilai kekasaran permukaan. Penelitian menggunakan mesin bubut, dan mata pahat karbida pada pemotongan Baja ST41. Parameter pemotongan yang digunakan yaitu kecepatan potong 200, 215, 230, 245, dan 260 (m/min), hantaran potong, serta kedalaman potong. Sebelum pemesinan dilakukan, maka ditentukan hantaran potong. Kekasaran permukaan ditentukan sebesar N7 yaitu 1.6 mikron yg merupakan hasil design suatu konstruksi poros. Guna mencapai nilai kekasaran yang diinginkan, maka proses pembubutan dilakukan dengan memvariasikan kecepatan pemotongan, hantaran potong (f) 0.1, 0.2, dan 0.3 (mm/rev), sedangkan kedalaman pemotongan 0.5 mm. Setelah proses pemotongan, kemudian dilakukan pengukuran kekasaran permukaan benda kerja dengan menggunakan surface test. Dari hasil pengamatan dan pengukuran diperoleh bahwa parameter yang paling mendekati kekasaran permukaan yang diinginkan N7 (1.6 mikron) yaitu pada kecepatan potong (V_c) 245 (m/min), gerak hantaran pemotongan (f) 0.1 (mm/rev), dan kedalaman pemotongan 0.1 mm dengan nilai kekasaran yang diperoleh sebesar 1.63 μm .

Kata kunci: Kekasaran permukaan, hantaran pemotongan, kecepatan pemotongan

Abstract

The turning process is a machining process on a cylindrical workpiece to produce a material profile as designed. The surface of the workpiece being machined produces rough scratches. The surface roughness of the workpiece is an indicator of the quality of the resulting surface. In machine construction, the surface roughness value has been determined by the designer according to the construction needs. The manufacturing process must be capable of forming metal and producing predetermined surface roughness values. The surface roughness value of the workpiece is influenced by several factors such as cutting parameters, cutting tools, coolant system, etc. This research was conducted to determine cutting parameters, especially cutting conductivity on the resulting surface roughness value. The study was carried out using a lathe and a carbide-type cutting tool to cut ST 41 steel. The cutting parameters were cutting speeds of 200, 215, 230, 245, and 260 (m/min), feeding, and depth of cut. Before machining is carried out, the cutting possibility of N7 is determined, namely 1.6 microns, based on the design of the shaft construction. To determine the roughness value to be achieved, the turning process is carried out by varying the cutting speed, cutting pass 0.1, 0.2, and 0.3 (mm/rev), while the depth of cut is 0.5 mm. After the cutting process is carried out, the surface roughness of the workpiece is measured. From the results of observations and measurements, it was found that the parameters closest to the desired surface roughness N7 (1.6) were cutting speed (V_c) 245 (m/min), feeding (f) 0.1 (mm/rev), and depth of cut (a) 0.1 mm with a roughness value of 1.63 μm .

Keywords: surface roughness, feeding, cutting speed

Pendahuluan

Pemotongan logam merupakan proses pemotongan baja untuk merubah bentuknya sesuai dengan gambar design. Pemotongan bagian-bagian benda kerja dilakukan dengan menggunakan mata pahat karbid yang terletak pada pemegang pahat mesin bubut, secara umum dikenal dengan proses pemesinan. Proses pemesinan merupakan suatu proses pemotongan menggunakan mata pahat yang dipasangkan pada pemegang mata pahat di mesin perkakas, dan melakukan pemotongan logam yang dicengkeram pada sebuah chuck. Terdapat tiga parameter utama pada proses pembubutan yaitu kecepatan pemotongan, kedalaman pemotongan dan hantaran potong yang memberi pengaruh terhadap hasil pembubutan.

Meningkatnya permintaan komponen yang memiliki tingkat presisi yang tinggi untuk aspek fungsional, kekasaran permukaan pada bagian mesin memainkan peran penting dalam proses manufaktur modern. Pembubutan merupakan suatu operasi pemesinan yang dilakukan pada mesin perkakas. Kualitas permukaan memainkan peranan yang sangat penting dalam kinerja pembubutan suatu benda kerja. Kualitas permukaan yang berubah secara signifikan meningkatkan kekuatan lelah, ketahanan korosi, atau umur mulur. (Saini dkk, 2014; Vu dkk, 2024).

Hasil akhir kekasaran permukaan benda kerja merupakan parameter nyata yang paling umum digunakan pada proses pemesinan untuk mengkarakterisasi kualitas hasil pemesinan. Kekasaran permukaan menentukan sifat fungsional suatu komponen mesin karena perubahan kekasaran dapat memengaruhi tribologi benda kerja akibat adhesi yang disebabkan oleh gesekan antara mata pahat dan benda kerja (Agrawal, 2015). Selain itu, kekasaran permukaan cenderung meningkat seiring bertambahnya keausan pada mata pahat pada seluruh kondisi pemotongan (D'Mello, Pai, P. S., & Prashanth, A, 2018).

Pergerakan mata pahat pada permukaan benda kerja menyebabkan sebagian material terkelupas dan membentuk jejak sesuai sudut pahat, sehingga muncul profil permukaan yang tidak teratur atau yang dikenal sebagai kekasaran permukaan. Nilai kekasaran berbeda untuk setiap proses pemesinan dan berbanding terbalik dengan tingkat kehalusan permukaan.

Dalam proses pemesinan, kekasaran permukaan ditentukan oleh jenis mata pahat serta parameter pemotongan yang digunakan. Pemahaman mengenai pengaruh

parameter pemotongan tersebut berperan penting dalam mengendalikan kualitas permukaan benda kerja (Şahinoğlu & Rafighi, 2020).

Baja ST41 merupakan salah satu baja karbon rendah yang umum dipasarkan di Indonesia dan mengandung karbon sebesar 0,08%–0,20%. Baja ini memiliki sifat mekanis yang baik, termasuk kekerasan, keuletan, dan ketangguhan. Selain itu, baja ST41 memiliki kekuatan tarik sebesar 410–530 MPa dan kekerasan 170–180 HB. Material ini digunakan pada berbagai elemen mekanis, seperti roda gigi, poros pinion, dan poros engkol (Riyadi & Siswanto, 2022).

Masalah utama dalam proses pemotongan material keras adalah timbulnya suhu pemotongan yang tinggi akibat gesekan antara permukaan benda kerja dan mata pahat serta terbentuknya chip. Kondisi ini menyebabkan peningkatan tingkat keausan pada mata pahat, penurunan kualitas permukaan benda kerja, dan pemendekan umur pakai mata pahat (Lubis, Siahaan., Darmawan., Adianto & Ronald, 2019).

Memperoleh nilai kekasaran permukaan sesuai perencanaan pada proses pembubutan merupakan hal yang tidak mudah. Pemilihan mata pahat dan penetapan parameter pemotongan menjadi faktor penting untuk menghasilkan kekasaran permukaan sesuai yang diinginkan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai hantaran pemotongan yang mampu menghasilkan kekasaran permukaan sesuai dengan target yang direncanakan. Penggunaan nilai hantaran pemotongan yang tepat dapat mengurangi peningkatan kekasaran permukaan.

Pola peningkatan kekasaran permukaan terlihat baik pada kondisi kering maupun kriogenik pada seluruh nilai kecepatan potong, di mana hantaran potong yang tinggi menghasilkan permukaan mesin yang lebih kasar. Seiring meningkatnya laju pemakanan, gaya pemotongan yang diperlukan juga meningkat agar pahat mampu memotong benda kerja. Kondisi ini mengakibatkan suhu pemotongan semakin tinggi dan menyebabkan keausan mata pahat yang lebih cepat (Natasha, 2018; Zha, 2024).

Penelitian yang dilakukan oleh Kuntoğlu dkk. (2022) menunjukkan bahwa kekerasan pahat mempengaruhi tingkat keausan tepi mata pahat, yang diikuti oleh peningkatan nilai kekasaran permukaan dan emisi akustik. Kondisi pemotongan yang ideal diperoleh ketika menggunakan pahat dengan kekerasan semi-keras. Temuan tersebut menggambarkan bahwa kekerasan pahat memberikan dampak signifikan terhadap karakteristik pemesinan yang perlu dikendalikan pada kondisi pemotongan tertentu.

Hasil penelitian yang dipublikasikan oleh Şahinoğlu (2020) menunjukkan bahwa hantaran potong merupakan parameter pemesinan yang paling berpengaruh terhadap kekasaran permukaan dan konsumsi daya. Parameter ini kemudian diikuti oleh

kedalaman potong dan kecepatan potong sebagai faktor lain yang turut memengaruhi kualitas permukaan.

Pada proses pemesinan, kekasaran permukaan tidak hanya dipengaruhi oleh kualitas mata pahat, tetapi juga oleh parameter pemotongan yang digunakan. Oleh karena itu, penting untuk memahami bagaimana parameter pemotongan tersebut berkontribusi terhadap perubahan nilai kekasaran permukaan benda kerja (Şahinoğlu dkk 2020; Usca dkk 2021).

Metode

Penelitian ini dilaksanakan dengan menggunakan metode eksperimental. Bahan dan peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut::

Peralatan

1. Mesin Bubut CNC *Mazak*
2. Alat ukur Kekasaran Permukaan Benda Kerja



Gambar 1. Alat Ukur Kekasaran Permukaan Benda Kerja

Tabel 1. Toleransi Nilai Kekasaran Permukaan Rata-rata (R_a) (ISO – 1302, 2001)

Kelas Kekasaran	Harga C.L.A (μm)	Harga R_a (μm)	Toleransi N +50% –25%	Panjang Sampel (mm)
N1	1	0.0025	0.02 – 0.04	0.08
N2	2	0.05	0.04 – 0.08	
N3	4	0.0	0.08 – 0.15	0.25
N4	8	0.2	0.15 – 0.3	
N5	16	0.4	0.3 – 0.6	
N6	32	0.8	0.6 – 1.2	
N7	63	1.6	1.2 – 2.4	
N8	125	3.2	2.4 – 4.8	0.8
N9	250	6.3	4.8 – 9.6	
N10	500	12.5	9.6 – 18.75	2.5
N11	100	25.0	18.75 – 37.5	
N12	2000	50.0	37.5 – 75.0	8

Benda Kerja Baja ST

Tabel 2. Material Baja ST 41 (Riyadi & Siswanto 2022).

Komposisi Kimia	Persentase (%)
-----------------	----------------

Fe	98,158
C	0,084
Si	0,135
Mn	0,278
Ni	0,005
S	0,0035
Cr	0,298
P	0,007
Cr	0,298
Ti	0,01
Al	0,16
Ca	0,008
Mo	0,008
Cu	0,004

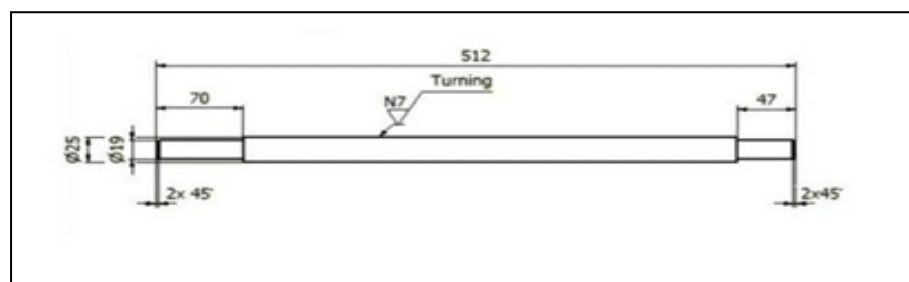
Mata Pahat Karbid Insert

Tabel 3. Parameter pemotongan

Kecepatan Pemotongan, m/min	120-260
Hantaran Pemotongan, mm/rev	0,08 – 2,00
Kedalaman Potong, mm	0,5 - 2

Prosedur eksperimen

Proses pembubutan dilakukan dengan tujuan memperoleh nilai kekasaran permukaan yang telah ditentukan dalam perancangan konstruksi. Nilai kekasaran permukaan tersebut kemudian dimasukkan ke dalam persamaan untuk menentukan nilai hantaran pemotongan yang akan digunakan.



Gambar 2. Nilai kekasaran permukaan (Ra) benda kerja

Pendekatan penggunaan hantaran potong dilakukan dengan menggunakan persamaan yang dikemukakan oleh Geoffrey (1989); Das (2016):

$$Ra = \frac{0,032 \cdot 1 \cdot f^2}{r_e} \quad (1)$$

Penentuan parameter hantaran pemotongan untuk mencapai nilai kekasaran permukaan yang diinginkan dilakukan melalui pendekatan menggunakan persamaan berikut:

$$f = \sqrt{\frac{0,032 \cdot 1,6}{r_{\epsilon}}} \dots \dots \dots (2)$$

Keterangan :

f : Hantaran pemotongan (mm/rev)

r_{ϵ} : Sudut ujung mata pahat (mm)

Ra : Nilai kekasaran permukaan rata-rata (μm)

Berdasarkan Tabel 1, nilai kekasaran permukaan yang ingin dicapai untuk poros tersebut adalah kelas N7, yaitu 1,6 μm . Sehingga dengan menggunakan persamaan (1) dan (2) maka diperoleh nilai hantaran potong yang digunakan sebagai berikut:

$$= \sqrt{\frac{0,032 \cdot 1,6 \mu\text{m}}{0,4 \text{ mm}}}$$

$$f = 0,1 \text{ mm/rev}$$

Hasil dan Pembahasan

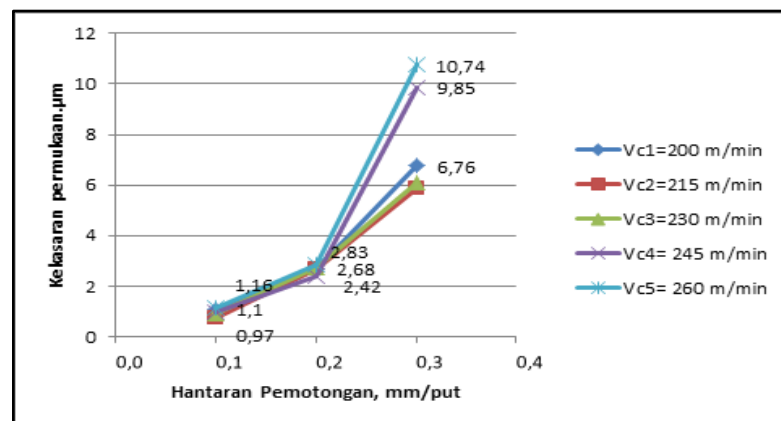
Hasil

Nilai kekasaran permukaan yang diperoleh dari hasil pengukuran terhadap benda kerja disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Nilai Kekasaran permukaan (*depth of cut* 0.5 mm)

Feeding (mm/rev)	Kecepatan pemotongan (V_c), m/min				
	200 (μm)	215 (μm)	230 (μm)	245 (μm)	260 (μm)
0,1	1,1	0,77	0,92	0,97	1,16
0,2	2,68	2,67	2,73	2,42	2,83
0,3	6,76	5,85	6,12	9,85	10,74

Berdasarkan Tabel 4, diketahui bahwa setiap kenaikan kecepatan hantaran menyebabkan peningkatan nilai kekasaran permukaan. Penggunaan hantaran pemotongan yang rendah dan kecepatan potong yang tinggi menghasilkan nilai kekasaran permukaan yang lebih baik (Vedrtnam dkk 2019; Bartarya dkk 2014).



Gambar 3. Grafik Hantaran Pemotongan terhadap Kekasaran Permukaan

Berdasarkan Gambar 6, diketahui bahwa seluruh kecepatan pemotongan menunjukkan peningkatan nilai kekasaran permukaan seiring dengan bertambahnya nilai hantaran. Beberapa penelitian juga menunjukkan bahwa pemesian kering menghasilkan kualitas permukaan akhir yang lebih baik ketika menggunakan sisipan karbida berlapis dibandingkan pemesian basah, serta dapat mengurangi biaya pemesian (D'Mello, Pai, P. S., & Prashanth, 2018).

Nilai kekasaran permukaan yang diperoleh dengan menggunakan hantaran pemotongan sebesar 0,1 mm/rev, berdasarkan perhitungan menggunakan Persamaan (1) dan lima variasi kecepatan pemotongan, disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Nilai Kekasaran Permukaan (<i>depth of cut</i> 0.1 mm)	
Kecepatan potong (V_c , m/min)	Hantaran pemotongan 0.1 (mm/rev)
200	1,16 μm
215	1,17 μm
230	1,23 μm
245	1,63 μm
260	1,67 μm

Berdasarkan Tabel 5, diketahui bahwa peningkatan kecepatan pemotongan memberikan pengaruh terhadap nilai kekasaran permukaan yang dihasilkan, yaitu semakin tinggi kecepatan pemotongan maka nilai kekasaran yang diperoleh cenderung meningkat. Berdasarkan perhitungan untuk menentukan nilai feed rate, diperoleh hantaran pemotongan sebesar 0,1 mm/rev. Dengan memvariasikan kecepatan pemotongan, proses pembubutan dilakukan untuk mencapai nilai kekasaran permukaan benda kerja sebesar N7 (1,6 μm). Berdasarkan hasil pengukuran pada Tabel 5, nilai kekasaran permukaan yang paling mendekati target adalah 1,63 μm pada kecepatan pemotongan 245 m/min.

Pembahasan

Mekanisme Terjadinya Kekasaran Permukaan yang Disebabkan oleh Mata Pahat

Kekasaran permukaan yang terbentuk selama proses pembubutan pada dasarnya disebabkan oleh interaksi langsung antara mata pahat dan material benda kerja. Ketika mata pahat memotong material, terjadi proses pemisahan lapisan material untuk membentuk serpihan atau *chip*. Proses ini dipengaruhi oleh gaya-gaya pemotongan seperti gaya potong utama (*main cutting force*), gaya geser (*shear force*), dan gaya gesekan (*friction force*). Variasi pada gaya-gaya tersebut menyebabkan perbedaan bentuk dan ketebalan *chip* sehingga menghasilkan variasi kekasaran permukaan.

Karakteristik *chip*—seperti ketebalan, bentuk, dan aliran *chip*—secara signifikan mempengaruhi kualitas permukaan. Ketika gaya potong meningkat, deformasi plastis material pada bidang geser menjadi lebih besar sehingga permukaan yang terbentuk cenderung lebih kasar. Sebaliknya, kondisi pemotongan yang stabil dengan gaya potong rendah dapat menghasilkan permukaan yang lebih halus.

Penelitian Bartarya & Pathak (2014) melaporkan bahwa kualitas permukaan sangat dipengaruhi oleh dinamika gaya pemotongan dan fenomena gesekan pada ujung pahat. Mereka menunjukkan bahwa peningkatan gaya geser dan gaya normal pada rake face menyebabkan ketidakstabilan *chip flow*, yang kemudian meningkatkan kekasaran permukaan. Hasil tersebut sejalan dengan temuan penelitian ini, di mana peningkatan *feed rate* dan ketidakstabilan selama pemotongan meningkatkan nilai kekasaran permukaan.

Selain itu, Vedrtam & Chaturvedi (2019) juga menemukan bahwa *feed rate* merupakan faktor paling dominan dalam meningkatkan kekasaran permukaan pada proses pembubutan baja karbon. Hal ini konsisten dengan hasil penelitian ini yang menunjukkan bahwa gerak pemakanan yang lebih besar secara langsung meningkatkan nilai kekasaran permukaan. Dengan bertambahnya *feed rate*, kecepatan perpindahan mata pahat terhadap benda kerja meningkat sehingga menghasilkan alur pemotongan yang lebih dalam dan tidak teratur.

Pada penelitian ini, nilai kekasaran permukaan terbaik yang mendekati target N7 ($1,6 \mu\text{m}$) diperoleh pada kombinasi parameter pemotongan:

- kedalaman potong = 0,1 mm,
- kecepatan potong (V_c) = 245 m/min,
- hantaran pemotongan = 0,1 mm/rev, dengan nilai kekasaran permukaan sebesar $1,63 \mu\text{m}$.

Hasil ini sejalan dengan temuan D'Mello, Pai, P. S., & Prashanth, A (2018) yang menyatakan bahwa penggunaan kecepatan potong tinggi dan hantaran rendah menghasilkan kualitas permukaan yang lebih baik, terutama pada pemesinan kering dengan sisipan karbida berlapis.

Sebaliknya, nilai kekasaran tertinggi dalam penelitian ini muncul pada kondisi:

- kedalaman pemotongan = 0,5 mm,
- kecepatan potong (V_c) = 250 m/min,
- hantaran=0,3mm/rev, dengan kekasaran mencapai $10,74 \mu\text{m}$.

Nilai ini sangat tinggi karena *feed rate* yang besar menyebabkan pembentukan alur yang dalam dan membesar pada permukaan benda kerja, sesuai dengan model peningkatan kekasaran yang dijelaskan oleh Aruna dkk (2016) bahwa *feed rate*

merupakan parameter paling berpengaruh terhadap roughness dibanding kecepatan potong maupun kedalaman potong.

Pada proses pembubutan, penelitian lain seperti Davim (2010); Gaitonde (2018) juga menegaskan bahwa peningkatan feed rate memiliki pengaruh paling signifikan terhadap kekasaran permukaan, sedangkan peningkatan kecepatan potong cenderung menurunkan kekasaran karena suhu pemotongan yang lebih tinggi dapat melunakkan permukaan lapisan material.

Hasil penelitian ini secara umum konsisten dengan literatur, yaitu:

1. Feed rate meningkat → kekasaran meningkat drastis
2. Kecepatan potong meningkat → kekasaran cenderung menurun
3. Ketidakstabilan pemotongan (vibrasi, alignment, spindle runout) → memperburuk permukaan

Getaran pada mata pahat, posisi center yang tidak tepat, gerak pemakanan yang tidak lurus (*non-linear feed*), serta ketidakseimbangan pahat merupakan faktor tambahan yang dapat mempengaruhi kualitas permukaan. Hal ini sejalan dengan laporan Thomas dkk (2017) yang menyatakan bahwa vibrasi sistem pemesinan (*chatter*) memiliki dampak signifikan terhadap peningkatan mikro-geometri ketidakrataan pada permukaan benda kerja.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini memperkuat kesimpulan dari berbagai penelitian sebelumnya bahwa:

- hantaran pemakanan (*feed rate*) adalah parameter yang memiliki pengaruh paling besar terhadap kekasaran permukaan,
- kecepatan potong memiliki pengaruh menurunkan kekasaran,
- kondisi pemotongan yang stabil, pemilihan pahat yang tepat, dan pengaturan parameter pemotongan yang optimal sangat diperlukan untuk memperoleh kualitas permukaan sesuai spesifikasi.

Kesimpulan

Penelitian ini menyimpulkan bahwa parameter pemotongan memiliki pengaruh langsung terhadap kualitas kekasaran permukaan pada proses pembubutan. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa feed rate merupakan parameter yang paling dominan dalam meningkatkan kekasaran permukaan; semakin besar nilai gerak pemakanan, semakin kasar permukaan yang dihasilkan. Sementara itu, peningkatan kecepatan potong cenderung menghasilkan permukaan yang lebih halus karena aliran chip lebih stabil dan gaya potong berkurang.

Kombinasi parameter kedalaman potong 0,1 mm, kecepatan potong 245 m/min, dan feed rate 0,1 mm/rev menghasilkan nilai kekasaran 1,63 μm , yang mendekati spesifikasi kualitas permukaan kelas N7 (1,6 μm). Sebaliknya, nilai kekasaran tertinggi sebesar 10,74 μm terjadi pada feed rate 0,3 mm/rev, kedalaman potong 0,5 mm, dan kecepatan potong 250 m/min. Temuan ini juga dipengaruhi oleh faktor pendukung seperti getaran pahat, ketidaktepatan posisi center, dan kestabilan mesin.

Secara keseluruhan, penelitian ini sejalan dengan berbagai penelitian sebelumnya yang menegaskan bahwa feed rate merupakan faktor paling signifikan dalam pembentukan kekasaran permukaan, sedangkan cutting speed berperan penting dalam memperhalus hasil pemotongan. Dengan demikian, pengaturan parameter pemotongan yang tepat menjadi kunci untuk mencapai kualitas permukaan sesuai standar yang ditetapkan.

Saran dari penelitian ini yaitu pada pengujian eksperimen dapat dilakukan dengan membandingkan material ST 41 dengan material lain, dengan parameter yang sama, sehingga dapat diketahui perbandingan hasil eksperimen dengan menggunakan parameter yang sama terdapat hasil kekasaran permukaan.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada LPPM Universitas Tarumanagara yang telah memfasilitasi penelitian ini melalui skim penelitian portofolio. Terima kasih juga disampaikan kepada Prodi Teknik Mesin atas bantuan yang diberikan dalam pelaksanaan penelitian di laboratorium Teknik Mesin.

Daftar Pustaka

- Agrawal, A., Goel, S., Rashid, W. B., & Price, M. (2015). Prediction of surface roughness during hard turning of AISI 4340 steel (69 HRC). *Applied Soft Computing*, 30, 279-286.
- Aruna, M., dkk. (2016). Analysis of Surface Roughness in Turning Process Under Various Cutting Conditions. *International Journal of Engineering Research and Applications*, 6(2), 45–52.
- Bartarya, G., & Choudhury, S. K. (2014). Influence of machining parameters on forces and surface roughness during finish hard turning of EN 31 steel. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 228(9), 1068-1080.
- Davim, J. P. (2010). *Surface Integrity in Machining*. Springer

- Das, S. R., Kumar, A., & Dhupal, D. (2016). Experimental investigation on cutting force and surface roughness in machining of hardened AISI 52100 steel using cBN tool. *International Journal of Machining and Machinability of Materials*, 18(5-6), 501-521.
- D'Mello, G., Pai, P. S., & Prashanth, A. (2018). Surface roughness analysis in high speed turning of Ti-6Al-4V using coated carbide inserts: experimental and modeling studies. *Tribology in Industry*, 40(3), 457.
- Gaitonde, V. N., dkk. (2018). Machinability Studies on Metal Cutting Processes and Surface Roughness Evaluation. *Precision Engineering Journal*, 52, 123–134
- Geoffrey, B., & Winston, A. K. (1989). Fundamentals of machining and machine tools.
- Natasha, A. R., Ghani, J. A., Che Haron, C. H., & Syarif, J. (2018, January). The influence of machining condition and cutting tool wear on surface roughness of AISI 4340 steel. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 290, p. 012017). IOP Publishing.
- Kuntoğlu, M., Gupta, M. K., Aslan, A., Salur, E., & Garcia-Collado, A. (2022). Influence of tool hardness on tool wear, surface roughness and acoustic emissions during turning of AISI 1050. *Surface Topography: Metrology and Properties*, 10(1), 015016.
- Lubis, M., Siahaan, E., Darmawan, S., Adiarto, A., & Ronald, R. (2019). Variation of Cutting Parameters in the Process of Turning AISI 4340 Steel on Surface Roughness. *SINERGI*, 23(2), 139 144
- Panuh, D. Chip Formation Analysis of the Turning of ST41 Steel. *Majalah Ilmiah Pengkajian Industri*. Vol. 16, No.3 December2022 –(129-134)
- Riyadi, M. I., & Siswanto, R. (2022). Pengaruh Waktu Kontak Air Lindi Dan Udara Terhadap Laju Korosi Baja St-41 Dan St-60. *Jtam Rotary*, 4(2), 115-128.
- ISO – 1302, 2001
- Şahinoğlu, A., & Rafighi, M. (2020). Optimization of cutting parameters with respect to roughness for machining of hardened AISI 1040 steel. *Materials Testing*, 62(1), 85-95.
- Saini, P., Parkash, S., & Choudhary, D. (2014). Experimental investigation of machining parameters for surface roughness in high speed CNC turning of EN-24 alloy steel using response surface methodology. *International Journal of Engineering Research and Applications*, 4(5), 153-160.
- Thomas, M., dkk. (2017). The effect of machining vibrations on surface roughness during turning operations. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*,

89, 1227–1236.

- Usca, Ü. A., Uzun, M., Kuntoğlu, M., Sap, E., & Gupta, M. K. (2021). Investigations on tool wear, surface roughness, cutting temperature, and chip formation in machining of Cu-B-CrC composites. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 116, 3011-3025.
- Vedrtam, A., & Chaturvedi, S. K. (2019). Optimizing machining process of E31 steel for improved surface roughness. *Invertis Journal of Science & Technology*, 12(4), 153-164.
- Vu, M. H., Hue, P. T. M., Huynh, N. T., & Nguyen, Q. M. (2024). Multi-objective Optimization for Enhanced Material Removal Rate and Reduced Machining Roughness in Hard Turning of SKD61 Alloy Steel. *Mathematical Modelling of Engineering Problems*, 11(3).
- Zha, X., Qin, H., Yuan, Z., Xi, L., Zhang, T., & Jiang, F. (2024). Effect of cutting feed rate on machining performance and surface integrity in cutting process of Ti-6Al-4V alloy. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 131(5), 2791-2809.